

Przystawka do spawania aluminium metodą TIG, część 3 AVT-970

Przedstawiamy ostatnią część artykułu o przystawce TIG – jest to dokończenie artykułów opublikowanych w EP10 i 11/2006. Dwie pierwsze części artykułu publikujemy na CD-EP1/2007B.

Rekomendacje:

przedstawiamy opis budowy przystawki TIG AC/DC, aby chętni posiadający także skromne możliwości finansowe jak i techniczne, mogli wejść w posiadanie takiego urządzenia.



PODSTAWOWE PARAMETRY

- max. prąd spawania AC – 400 A
- max. prąd spawania DC – 400 A
- napięcie biegu jałowego transformatora spawalniczego – 70 V
- napięcie biegu jałowego prostownika spawalniczego – 70 V
- gaz ochronny – argon, czystość 99,999%, handlowy symbol czystości: „5,0” przy spawaniu aluminium, a 99,996% przy spawaniu prądem stałym: „4,6”
- ciśnienie cieczy chłodzącej – 0,2 MPa
- opóźnienie wypływu gazu – 6 do 15 sek.
- eliminacja składowej stałej prądu spawania – ręcznie (potencjometrem).

Wartość maksymalna prądu spawania zależy od prądu przewodzenia tyrystorów mocy, przekrojów instalacji „wysokoprądowej” w przystawce oraz od zastosowanego palnika TIG.



Układ sterowania włącz – wyłącz proces spawania

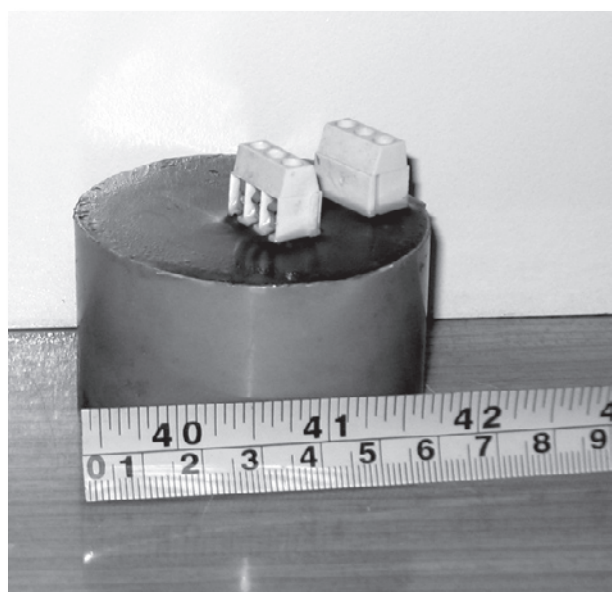
Transformator Tse wraz z mostkiem prostowniczym Pr2, kondensatorem C22 oraz przełącznikiem małej mocy P3 trzeba dobrać eksperymentalnie. Transformator Tse jest małej mocy (rzędu 5 VA i przekładni np. 230/24 V) i ważne jest, aby uzwojenie pierwotne i wtórne było umieszczone na karkasie obok siebie. Do załączenia przełącznika P3 (styki 1 A, cewka 24 V na prąd stały), który jest umieszczony w obwodzie uzwojenia pierwotnego transformatora Tse, wykorzystano zjawisko znacznego wzrostu prądu w uzwojeniu pierwotnym w wypadku zwarcia uzwojenia wtórnego. Kondensator elektrolityczny C22 (2,2 do 10 $\mu\text{F}/50\text{ V}$) ułatwia załączenie przełącznika P3. Natomiast uzwojenie wtórne Tse jest podłączone do złącza Gs. Po przeprowadzeniu prób z zespołem Tse, przełącznikiem i kondensatorem C22, transformator Tse umieszczamy w stosownym naczyniu z plastyku i zalewamy żywicą epoksydową (fot. 13). W szereg z uzwojeniem pierwotnym Tse włączony jest wyłącznik wodny Ww, który uniemożliwia pracę przystawki w przypadku braku lub zbyt ni-

skiego ciśnienia cieczy w obwodzie chłodzenia palnika.

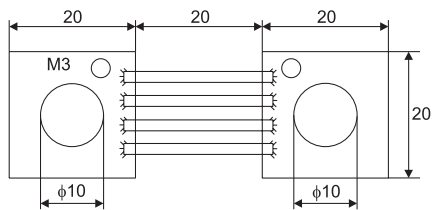
Równoległe do styków wyłącznika wodnego Ww, włączony jest zestaw sygnalizacji braku cieczy lub jej zbyt niskiego ciśnienia w obwodzie chłodzenia palnika, który składa się z diody LED1 (pulsującej), R44 (2 k Ω), diody D8 oraz kondensatora C21 (10 $\mu\text{F}/50\text{ V}$).

Zestaw pomiarowy

W obwodzie spawania prądem przemiennym (AC) włączony jest boczny pomiarowy B, który wraz z miliamperomierzem analogowym prądu stałego (z zerem po środku skali) służy do odczytu wartości składowej stałej prądu spawania (SS). Oryginalny boczny jest



Fot. 13. Wygląd transformatora Tse

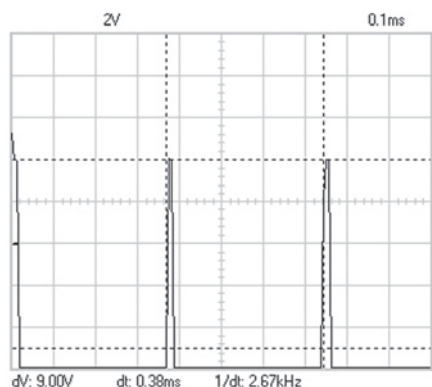


Rys. 14. Proponowany sposób wykonania bocznika pomiarowego

dość drogi – kosztuje ponad 100 zł – warto więc pokusić się do jego wykonania we własnym zakresie. Dwie płytki miedziane o grubości min. 2 mm (rys. 14) są połączone ze sobą metodą lutowania twardego z czterema prętami drutu oporowego o średnicy 3 mm. W płytkach miedzianych nawiercono otwory, nawintowane pod śrubę M3, w których będą zamocowane przewody probiercze. Samodzielnie wykonany bocznik pomiarowy nie wymaga skalowania, gdyż służy on wyłącznie do odczytu wartości SS. Można również zainstalować dodatkowy zestaw pomiarowy (bocznik i miernik analogowy albo cyfrowy) w obwodzie spawania prądem stałym (DC). W tym przypadku zachodzi konieczność skalowania samodzielnie wykonanego bocznika pomiarowego.

Transformatory do sterowania tyrystorów mocy

Transformator Tr1 i Tr2 wykonany jest z kształtek typu EI o powierzchni kolumny środkowej równej 1 cm². Doskonale nadają się do wykorzystania transformatory montowane w tarczowych aparatach telefonicznych (produkowanych przed laty przez RWT Radom), których karkasy są przystosowane do montażu na płytce drukowanej. Można zastosować rdzenie ferrytowe (kubkowe) np. z ferrytu F 1001, liczba Al 3900 (średnica rdzenia $\phi=26$ mm, a wysokość 16 mm).



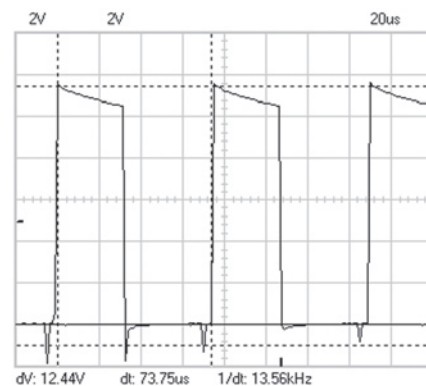
Rys. 15. Oscylogram przebiegów „odtykających” diody D17 i D18

Uzwojenie pierwotne należy wykonać drutem DNE 0,2 – 100 zwojów, natomiast uzwojenie wtórne posiada 70 zwojów drutem DNE 0,2. Należy zadbać o staranne odizolowanie od siebie poszczególnych uzwojeń. Diody D17 i D18 są spolaryzowane zaporowo w stosunku do dodatniej biegunowości impulsu wyjściowego transformatorów Tr1 i Tr2. Przed montażem tych diod, niezbędne staje się użycie oscyloskopu w celu określenia polaryzacji impulsu, którego kształt jest zbliżony do oscylogramu pokazanego na rys. 15.

Płytki elektroniki

Płytki elektroniki (P11 – jej schemat opublikowaliśmy w EP10/2006), zawiera wszystkie niezbędne elementy elektroniczne umożliwiające funkcjonowanie przystawki. Napięcie (24 V/50 Hz) po wyprostowaniu (mostek Pr1) poprzez diodę D7 zasila dwa monolityczne stabilizatory napięcia (US1 i US2) zaopatrzone we wspólny radiator. Z anody diody D7 sygnał jest pobierany poprzez dzielniki R39 i R40 oraz tranzystory T14 i T15 (które pracują jako detektor „zera” sieci zasilającej) do sterowania wejścia (pin 2) obwodu czasowego US6. Na wyjściu tego obwodu (pin 3) pojawia się sygnał o częstotliwości 100 Hz, którego czas trwania regulowany jest wstępnie potencjometrem montażowym PR2, a podczas pracy całej przystawki, potencjometrem PR3 (składowa stała prądu spawania). Zestaw regulacyjny (PR2) należy tak ustalić, aby przy maksymalnej oporności potencjometru PR3, czas trwania sygnału na wyjściu US6 (pin 3) nie przekraczał 6 ms. Czas ten jest płynnie regulowany potencjometrem PR3, a sygnał wyjściowy z US6 poprzez tranzystor T12 opóźnia załączenie tyrystora mocy Ty2.

Przetwornica napięcia 30/600 V zbudowana w oparciu o powszechnie znany układ scalony SG3525A, doczekała się już tylu opracowań, że wspomnę tylko o kilku ważnych szczegółach. Jest to obwód scalony, generujący impulsy wyjściowe (pin 11 i 14) zasilające bramki tranzystorów mocy (T16 i T17), których „źródła” połączone są ze sobą i przez opornik R37 dołączone do masy. Tranzystory T16 i T17 zaopatrzone są w radiatory np. z blachy aluminiowej gr. 2 mm, o powierzchni nie mniejszej, niż 10 cm². Potencjometrem montażowym PR1 ustala



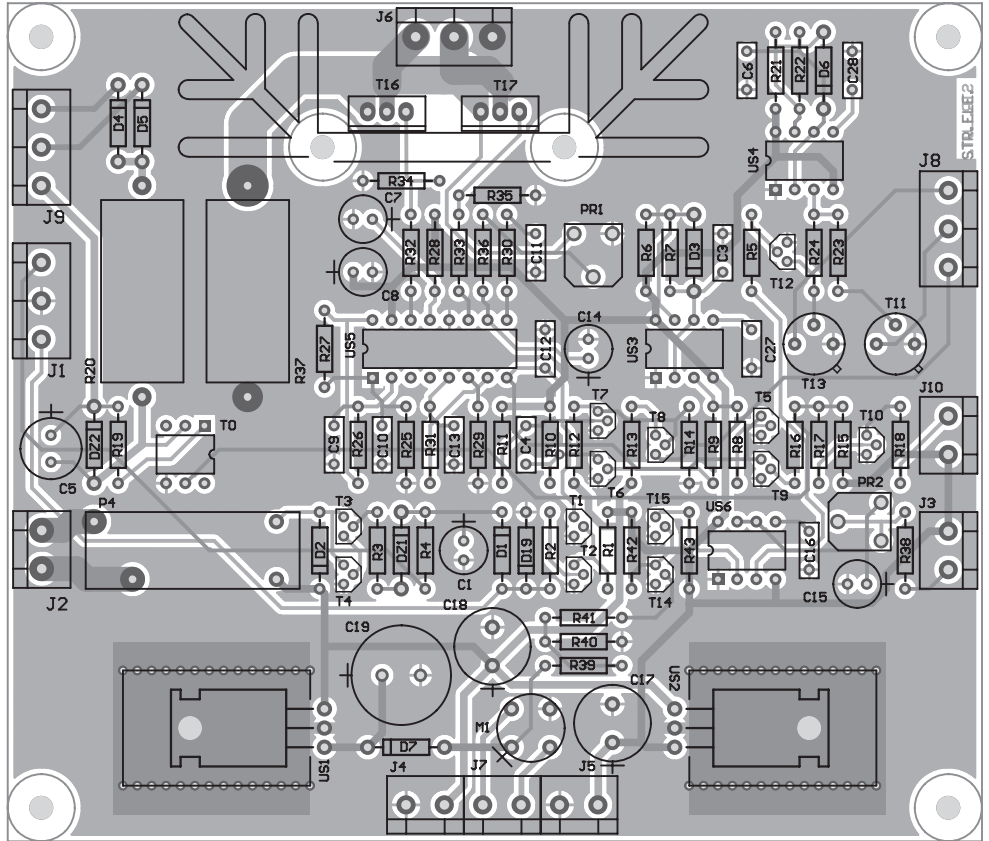
Rys. 16. Oscylogram przebiegu na wyjściu sterownika przetwornicy (pin 14 układu 3525A)

się maksymalny prąd przewodzenia tranzystorów mocy, po przekroczeniu którego, praca przetwornicy zostaje zablokowana. Ważna jest wartość opornika R31, który ustala tzw. czas martwy, natomiast opornik R29 i kondensator C13 decydują o częstotliwości pracy przetwornicy. Kondensator elektrolityczny C20 musi być zamontowany jak najbliższej środkowego odczepu uzwojenia pierwotnego transformatora TrP. Na rys. 16 pokazano oscylogram impulsu na wyjściu (pin 14) przetwornicy. Taki sam obraz jest na wyjściu (pin 11), lecz przesunięty o 180°.

Częstotliwość pracy przetwornicy wynosi 13,56 kHz. Sprawdzenie przetwornicy napięcia przed montażem w przystawce jest konieczne, bowiem jakiegokolwiek nieprawidłowości kończą się zniszczeniem tranzystorów T16 i T17. W tym celu, do odczepu środkowego uzwojenia pierwotnego transformatora TrP włączamy żarówkę 24 V/50 W, a uzwojenie wtórne tego transformatora obciążamy dwiema żarówkami 230 V/60 W połączonymi szeregowo. Wówczas, oscyloskopem sprawdzamy, czy wszystkie przebiegi są prawidłowe. Sprawdzamy również tzw. czas martwy. Tu bardzo jest użyteczny oscyloskop 2-strumieniowy, bowiem nanosimy na siebie na ekranie dwa przebiegi (pin 11 i 14) US5 i wówczas łatwo stwierdzić istnienie czasu martwego i jego parametry. Czas martwy przetwornicy ustalamy wartością opornika R31. Po stwierdzeniu, że układ działa prawidłowo, usuwamy żarówkę z obwodu uzwojenia pierwotnego transformatora TrP i powyższe czynności powtarzamy. Jest tu okazja do ustalenia położenia potencjometru montażowego PR1, który ustala maksymalny prąd w obwodzie tranzystorów mocy przetwornicy.

Przerwanie pracy przetwornicy następuje z trzech powodów: nie jest załączony przełącznik P3, następnie brak galwanicznego połączenia pomiędzy zaciskiem laboratoryjnym „MASA”, a materiałem spawanym oraz w trakcie występowania na wyjściu (pin 3) układu scalonego US3 stanu wysokiego. Układ scalony US3 pracuje jako przerzutnik astabilny, sygnał z jego wyjścia (pin 3) zobrazowany na rys. 15, który załącza tyrystor Ty3 i w tym samym czasie blokuje pracę przetwornicy (US6). Zablokowanie pracy przetwornicy jest konieczne, bowiem w czasie występowania stanu wysokiego na wyjściu US3, tyrystor Ty3 zostaje załączony, rozładowuje kondensator C23 w Bloku Wysokiego Napięcia, po rozładowaniu którego musi jeszcze osiągnąć zdolność zaworową. W przedstawionym rozwiązaniu, częstotliwość przerzutnika (US3) wynosi 542 Hz, a czas trwania stanu wysokiego sygnału wyjściowego wynosi ok. 300 μ s i taka jest częstotliwość impulsów wysokiego napięcia występujących na uzwojeniu wtórnym transformatora TrWN. Parametry czasowo-częstotliwościowe przerzutnika US3 są ustalane rezystorami R6 i R7 oraz kondensatorem C3. W przypadku trudności z doбором „szybkiego” tyrystora Ty3, należy nieco zwiększyć czas trwania stanu wysokiego na wyjściu obwodu scalonego US3.

Działanie układu czasowego do sterowania elektrozaworu gazu sprowadza się do doprowadzenia napięcia 24 V poprzez diodę D1 do kondensatora elektrolitycznego C1. Po skończonym cyklu spawania, naładowany kondensator C1 zasila bazę tranzystora T3, który z tranzystorem T4 jest połączony w układzie Darlingtona. Czas rozładowania kondensatora C1 można regulować płynnie w zakresie od 6 do 15 s potencjometrem „GAZ” (OWG). Tranzystor T1 jest wyłączony, gdy na oporniku R2 pojawi się napięcie 24 V, tym samym umożliwiając pracę przetwornicy (US5). Ostatnie ogniwo w łańcuchu blokady pracy przetwornicy (US5), to układ „wykrywający” czy zacisk „MASA” jest



Rys. 17. Schemat montażowy płytki drukowanej

połączony galwanicznie z materiałem spawanym. Układ ten składa się z diod D4 i D5, opornika R19 i R20, diody Zenera oraz kondensatora C5. Obwód ten zasila diodę elektroluminescencyjną w transoptorze TO. W przypadku braku połączenia zacisku „MASA” z materiałem spawanym, tranzystory T9 (blokuje pracę przetwornicy) i T10 są załączone, co sygnalizuje dioda pulsująca „MASA” (LED2).

Obwód scalony US4 pracuje jako przerzutnik astabilny, którego zadaniem jest załączenie tyrystorów mocy poprzez tranzystory T11 i T13 oraz transformatory Tr1 i Tr2. Obwód US4 generuje impulsy zobrazowane na rys. 15, a ich parametry częstotliwościowo-czasowe ustalają elementy R21, R22 oraz kondensator C6. Sterowanie tyrystorów Ty1 i Ty2 pakietem impulsów pochodzących z obwodu US4, umożliwia pewniejsze ich załączenie.

Na rys. 17 pokazano schemat montażowy płytki drukowanej.

Montaż podzespołów przystawki

Na fot. 18 przedstawiono przykładowe rozmieszczenie elementów wewnątrz przystawki. Prace

montażowe zaczynamy od zamocowania elementów na przedniej i tylnej ścianie przystawki. Potem, wewnątrz przystawki planujemy rozmieszczenie pozostałych podzespołów tak, aby mieć swobodny dostęp do każdego z nich zarówno w trakcie montażu jak i usuwania ewentualnych uszkodzeń. Wskazane jest, aby płytka elektroniki (P11) wraz z transformatorem przetwornicy (TrP) była zamocowana na jednej płycie tekstolitowej grubości 2 do 3 mm. Przewody elektryczne o dużym przekroju (płaskowniki miedziane) montujemy bez izolacji zewnętrznej. Węże igielitowe do instalacji wodnej i gazowej powinny być zbrojone. Wszystkie króćce, na które nasuwane są węże igielitowe muszą mieć u nasady przegrubienie, które uniemożliwi ich zsuniecie się pod wpływem ciśnienia. Przegrubienie takie jest łatwo wykonać poprzez przylutowanie na miękko dwóch zwojów drutu miedzianego o średnicy np. 0,5 mm. Dodatkowo, pewność połączeń węży igielitowych z króćcami należy wzmocnić opaskami metalowymi. I tu, praktyczna rada: dostępne na rynku opaski zaciskowe o małej średnicy mają tę wadę,

iz posiadają tzw. strefę martwą, co uniemożliwia skuteczne uszczelnienie złącza. Wyjście w tej sytuacji jest proste, wystarczy bowiem zamiast opaski zaciskowej, na miejsce uszczelnienia ułożyć dwa zwoje drutu miedzianego o średnicy 1...1,5 mm i z wyczuciem zacisnąć szczypcami. Należy zadbać, aby w trakcie montażu węże wodne i gazowe nie miały żadnych „załamania”. Przypominam o konieczności zachowania odstępów (min. 25 mm) pomiędzy elementami będącymi pod wysokim napięciem, a pozostałymi metalowymi podzespołami przystawki (nie dotyczy to elementów zaizolowanych). Transformator TrWN mocujemy do obudowy na oddzielnej płycie tekstolitowej (gr. 3...5 mm), bowiem jego rdzeń nie może mieć kontaktu z jakąkolwiek metalową częścią obudowy. Tyristory mocy (Ty1 i Ty2) wraz z radiatorem wodnym i bocznikiem pomiarowym B, można bezpośrednio zamocować śrubami do złącz wysokoprądowych (AC i DC). W tym celu, aby uniknąć dodatkowych połączeń elektrycznych, należy wcześniej rozplanować rozstaw złącz wysokoprądowych (umieszczonych na tylnej ścianie przystawki) do gabarytów radiatora wodnego zawierającego tyristory mocy. Płytkę (P12) zawierającą transformatory sterujące Tr1 i Tr2, mocujemy jak najbliżej tyristorów mocy.

Po wykonaniu montażu większych elementów, pora na ułożenie przewodów o małym przekroju. Dla „przejrzystości” tej instalacji, układamy przewody np. na wewnętrznej powierzchni obudowy i mocujemy je klejem Super Glue.

Uruchomienie przystawki

Po sprawdzeniu prawidłowości połączeń wszystkich podzespołów, pora na wstępne uruchomienie przystawki. Zaczynamy od sprawdzenia szczelności instalacji wodnej oraz do regulacji progu zadziałania wyłącznika wodnego (Ww). W tym celu należy zaopatrzyć się w manometr, który doraźnie montujemy przy złączu wejściowym „WODA”. Należy zwrócić uwagę, czy instalacja wodna jest drożna, bowiem jak wcześniej wspomniałem, wyłącznik wodny wykrywa tylko ciśnienie cieczy chłodzącej, a nie jej przepływ.

W instalacji gazowej również ważna jest szczelność połączeń, bowiem w przeciwnym wypadku grozi to utratą kosztownego argonu.

Sprawdzenie obwodów elektrycznych zaczynamy etapami. Należy podłączyć zasilanie przystawki z transformatora Tz (380/24V). Wówczas, świecą diody „MASA” i „WODA”. Po doprowadzeniu wody pod odpowiednim ciśnieniem do złącza „WE”, gaśnie dioda „WODA”, tym samym uaktywniony został wyłącznik wodny (Ww). Przełącznik rodzaju Prp (AC DC), ustawiamy w pozycję „AC”. Dokonujemy doraźnego zwarcia do masy wejścia pin 8 obwodu scalonego US5 (blokada przetwornicy). Sprawdzić należy działanie obwodu elektrozaworu gazu. W tym celu załączamy mikrowyłącznik umieszczony w palniku TIG, który poprzez złącze „GS” uaktywnia przełącznik P3. W chwili zadziałania przełącznika P3, zostaje załączony również elektrozawór gazu poprzez styki przełącznika P4. Po zwolnieniu naciśnięciu na mikrowyłącznik w palniku TIG, elektrozawór gazu jest nadal otwarty w przedziale czasowym 6...15 s, płynnie regulowanym potencjometrem „GAZ” (PR4).

W dalszej kolejności, do zacisku wysokoprądowego „AC” podłączamy przewód transformatora spawalniczego (TS), a drugi przewód łączymy z materiałem spawanym.

Po doprowadzeniu do zacisku

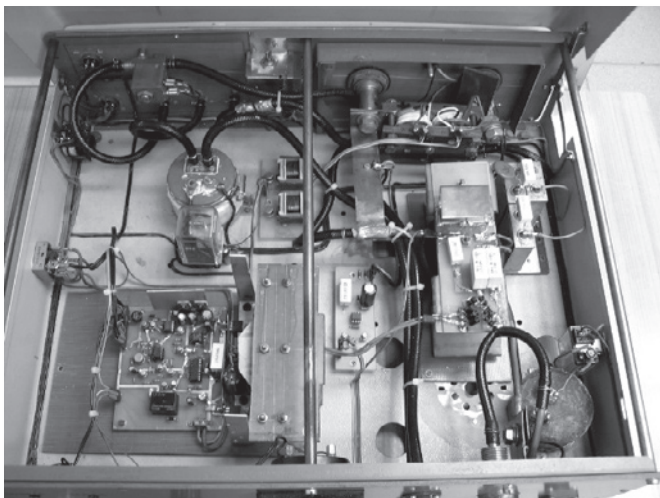
Czytelników zainteresowanych tematyką artykułu odsyłam do dwóch bardzo dobrych książek traktujących o spawalnictwie. Są to: „Maszyny i urządzenia spawalnicze”, aut. Edward Dobaj, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa, 1998 oraz „Technologia spawania i cięcia metali”, aut. Andrzej Klimpel, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1997. Z pozycji tych jak i z zasobów internetowych korzystałem przy niniejszym opracowaniu.

„MASA” (tylna ścianka przystawki) przewodu połączonego z materiałem spawanym, gaśnie dioda pulsująca „MASA”. Wyjście przystawki, pomiędzy palnikiem TIG, a materiałem spawanym obciążamy opornikiem bardzo dużej mocy i oporze rzędu 1...4 Ω. Po podłączeniu oscyloskopu do wyjścia przystawki, obserwujemy na ekranie skuteczność regulacji składowej stałej prądu spawania, którą dokonujemy potencjometrem „SS” (PR3). W ujemnym półokresie sieci zasilającej będzie wyraźnie widać moment załączenia tyristora mocy Ty2.

Takich pomiarów nie wolno dokonywać w sytuacji, gdy na palniku TIG będą impulsy wysokiego napięcia.

Po stwierdzeniu prawidłowości w działaniu przystawki, należy podłączyć argon do wejścia „GAZ” i zdjąć zworę na obwodzie scalonym US5 (pin 8). W palniku TIG mocujemy elektrodę wolframową o średnicy np. 2,5 mm, która wystaje na zewnątrz poza ceramiczną łuskę, nie więcej niż 5 mm, a prąd spawania w transformatorze spawalniczym ustawiany na ok. 150 A. Dla pewnego zajarzenia łuku spawalniczego, należy ceramiczną łuskę palnika oprzeć o materiał spawany (aluminium) i załączyć mikrowyłącznik w palniku. W chwili pojawienia się stabilnego łuku spawalniczego, pokrętkiem „SS” korygujemy poziom składowej stałej prądu spawania, tak, aby wskazania miliamperomierza oscylowały wokół zera. Podczas spawania aluminium nie należy nadmiernie wydłużać łuku spawalniczego (zwiększać odległości pomiędzy elektrodą palnika, a materiałem spawanym), prowadzi to bowiem do zaburzeń procesu spawania. Optymalna odległość elektrody od materiału spawanego, to 5 do 8 mm.

Do końca, nie udało mi się jednoznacznie ustalić znaczenia biegunowości impulsów wysokiego napięcia, które są indukowane w uzwojeniu wtórnym transformatora TrWN. Moż-



Fot. 18. Proponowane rozmieszczenie bloków przystawki

na zatem przeprowadzić eksperymenty polegające na zmianie kierunku przepływu prądu w uzwojeniu pierwotnym tego transformatora.

Po pomyślnym przeprowadzeniu prób ze spawarką prądu przemiennego, przeprowadzamy testy na spawanie prądem stałym (DC). W tym celu, odłączamy spawarkę transformatorową i biegun ujemny prostownika spawalniczego podłączamy do złącza wysokoprądowego „DC”, biegun dodatni łączymy z materiałem spawanym, a przełącznik rodzaju pracy Prp ustalamy w położeniu „DC”. W tej opcji spawania impulsy wysokiego napięcia na uzwojeniu wtórnym transformatora TrWN muszą mieć biegunowość ujemną w stosunku do masy (materiału spawanego). Ponieważ, powyżej wyraziłem wątpliwość, co do biegunowości impulsów WN przy spawaniu aluminium i jednocześnie jednoznacznie stwierdziłem biegunowość tych impulsów w przypadku spawania prądem stałym, optymalnym wydaje się być wyjściem, zamontować na płycie

czołowej dodatkowy przełącznik, albo lepiej przełącznik z przekaźnikiem, który zmieniłby kierunek przepływu prądu w uzwojeniu pierwotnym transformatora TrWN.

A – na koniec – najważniejsze i najtrudniejsze, należy nauczyć się spawać metodą TIG w ogóle, a aluminium w szczególności, lecz opis sposobów spawania wykracza poza zakres tego opracowania.

Uwagi końcowe

Przedstawiony opis wykonania przystawki do spawania metodą TIG AC DC, jest zarówno praktyczny, jak i pozwalający zrozumieć istotę spawania elektrodą nietopliwą w osłonie argonu. Przed przystąpieniem do używania przystawki, należy przeprowadzić serię badań technicznych, szczególnie na skuteczność zerowania i oporność izolacji, zgodnie z wymaganiami, jakie są stawiane urządzeniom TIG.

Spawanie łukowe oprócz oczywistej efektywności łączenia metali,

niesie ze sobą wiele zagrożeń dla zdrowia, warto więc zadbać, aby przejść choćby podstawowe przeszkolenie w tym zakresie. Wiele instytucji organizuje kursy spawania na różnych poziomach trudności.

I tradycyjnie przypominam o środkach ochrony osobistej podczas spawania łukowego. Odpowiedni ubiór chroniący całe ciało, a szczególnie maska spawalnicza zabezpiecza przed przykrymi konsekwencjami dla zdrowia.

Stanisław Krasicki
skrasicki@wp.pl

Szczególne podziękowanie składam: Panu dr inż. Andrzejowi Bobrowiczowi z Politechniki Szczecińskiej za rzeczowe uwagi dot. zagadnień spawalniczych oraz Panu Prezesowi, Bogusławowi Deręgowskiemu z Firmy SUT Spawalnictwo i Urządzenia Techniczne dla Ochrony Środowiska w Szczecinie, za nieodpłatne udostępnienie argonu.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R: patrz opis

R1, R2, R5, R10, R11, R16, R17, R25, R26, R27, R39...R43: 4,3 kΩ

R3, R22, R34, R35: 20 kΩ

R4: 200 kΩ

R6: 4 kΩ

R7: 25 kΩ

R8, R9, R23, R24: 1,5 kΩ

R12: 4,7 kΩ

R13: 300 Ω/0,5W

R14: 100 kΩ

R15: 2,7 kΩ

R18, R45...R47: 1 kΩ

R19: 800 Ω

R20, R49, R50: 1 kΩ/5 W

R28, R32, R33: 10 Ω

R29: 4,7 kΩ

R30: 680 Ω

R31: 120 Ω

R36: 100 Ω

R37: 0,2 Ω/5 W

R38: 200 Ω

R44: 2 kΩ

R48: 33 Ω/2 W

PR1, PR2: 1 kΩ

PR3: 4,7 kΩ/A

PR4: 1 MΩ/A

Kondensatory

C1: 22 μF/25 V

C2: 100 nF/100V

C3, C9...C11, C16, C27, C28: 100 nF

C4: 4,7 nF

C5: 220 μF/16 V

C6: 22 nF

C7, C8: 47 μF/16 V

C12: 1 nF

C13: 10 nF

C14: 0,49 μF/10 V

C15: 1 μF/16 V

C17: 470 μF/16 V

C18: 470 μF/25 V

C19: 1000 μF/35 V

C20: 4700 μF/35 V

C21: 10 μF/50 V

C22: 2 do 10 μF/50 V

C23: 100 nF/1 kV, impulsowy, typ MKP 27

C24: 10 μF/200 V, olejowy

C25: 20 μF/200 V, olejowy

C26: 0,5 μF/200 V

Półprzewodniki

D1, D2, D7...D10, D15...D19: 1 A/100 V

D3, D6: dowolna, krzemowa

D4, D5: 1 A/400 V

D11...D14: BY399, 3 A/1 kV/500 ns

Pr1, Pr2: mostek, 1 A/100 V

Pr3: mostek, 15 A/100 V

DZ1: 4,7 V

DZ2: 12 V/1,2 W

W1, W2: warystor, 130 V/1,3 W

LED1, LED2: dioda "pulsująca"

TO: transoptor, CNY 17-3,

T1...T10, T12, T14, T15: BC107 lub podobne

T11, T13: BC211 lub podobne

T17, T17: IRF 640

US1: 7824

US2: 7812

US3, US4, US6: NE555

US5: SG3525N

Ty1, Ty2: T20-300-03 prod. Dacpol, Piaseczno lub podobne

Ty3: patrz opis

Transformatory

Tz: 380/24/80VA

Trse: patrz opis

TrWN: patrz opis

TrP: patrz opis

Tr1, Tr2: patrz opis

Przekaźniki

P1: R15, cewka 24 V=, prod. Relpol Żary

P2: cewka 24 V=, styki 5 A

P3: patrz opis

P4: cewka 24=, styki 5A

Inne

Ww: wyłącznik wodny – patrz opis

Dł1: dławik, patrz opis

B1, B2: bezpiecznik, 1 A

B: bocznik pomiarowy – patrz opis

Prp: przełącznik, styki 1 A

EZ: elektrozawór – patrz opis